

磁気圏型配位RT-1で観測される コーラス放射の発生領域

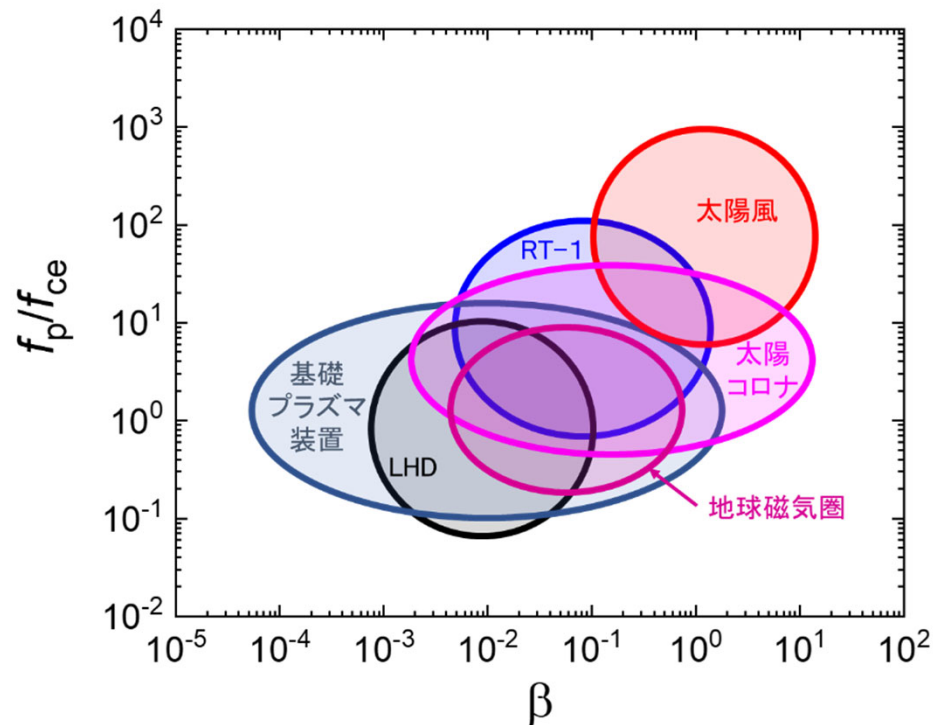
東大新領域, 核融合研^A

齋藤晴彦^{AB}, 西浦正樹^{AB}, 上田研二^A, 温周陽^A, 三村洸生^A, 鋤持尚輝^B, 吉田善章^B

1. はじめに: ホイッスラーモード・コーラス放射の実験研究
2. RT-1におけるこれまでの経緯と, 発生領域
3. 揺動の分散関係と頻度の高い出現周波数の特徴
4. 密度分布の再構成と, 推定されるコーラス放射の発生領域
5. まとめと今後の課題

研究背景：実験室におけるコーラス放射の研究

- ホイッスラーモード・コーラス放射は，地球など惑星周辺のプラズマ現象
- 周波数の時間的変化を示す非線形現象（プラズマとの相互作用）
- 粒子加速や輸送など宇宙天気現象として，また核融合プラズマとの共通性

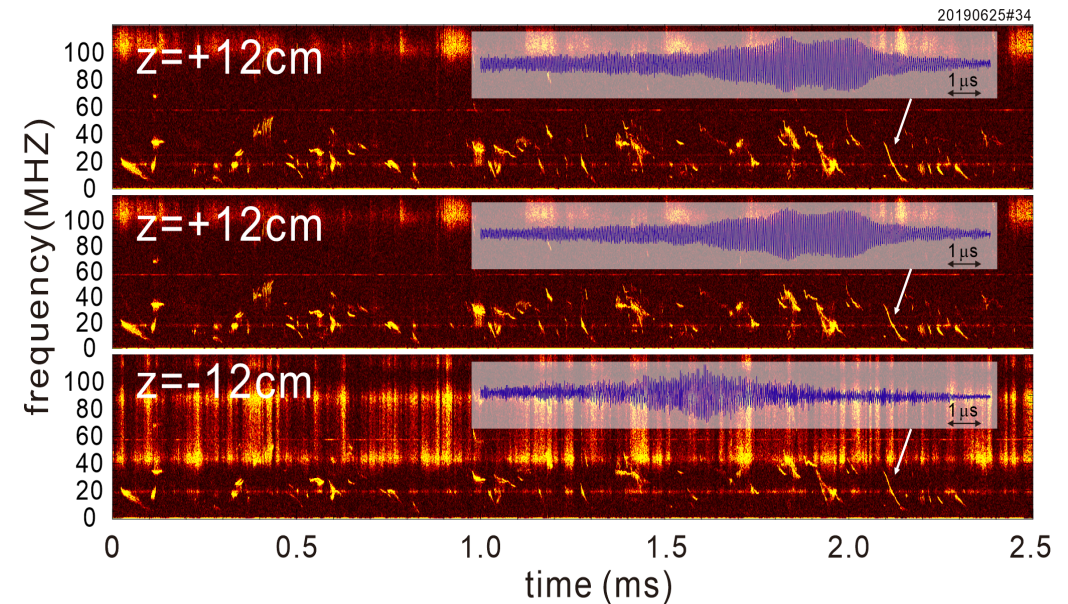


2021 Katoh & Nagaoka プラ核学会誌

宇宙プラズマと実験室プラズマは，注目するパラメータによって近い特性を持つ

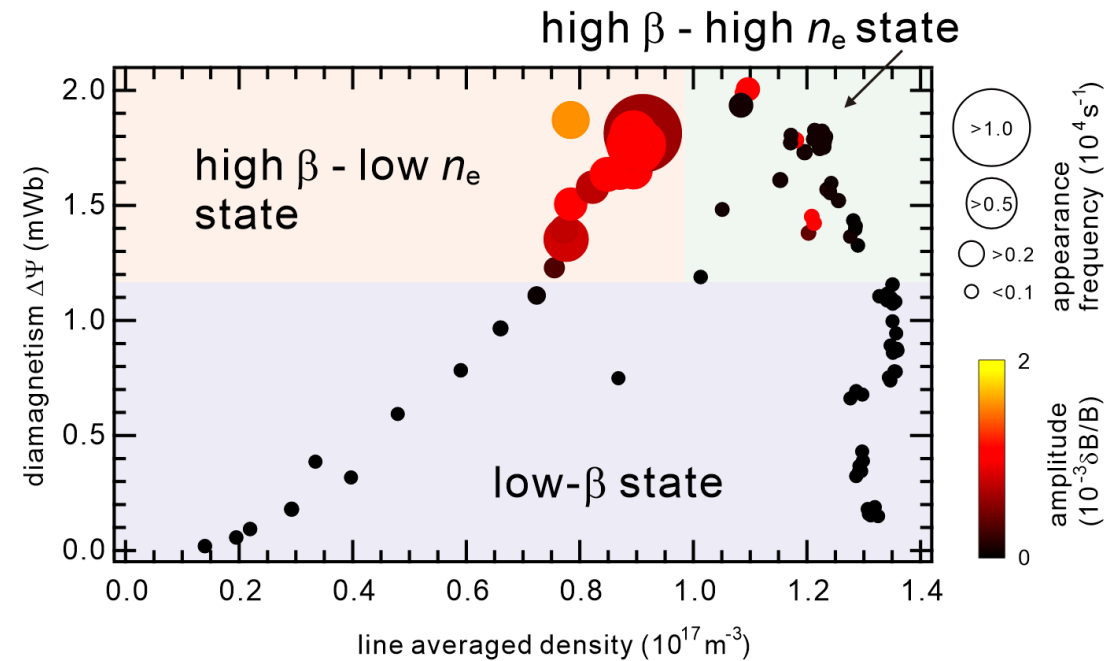
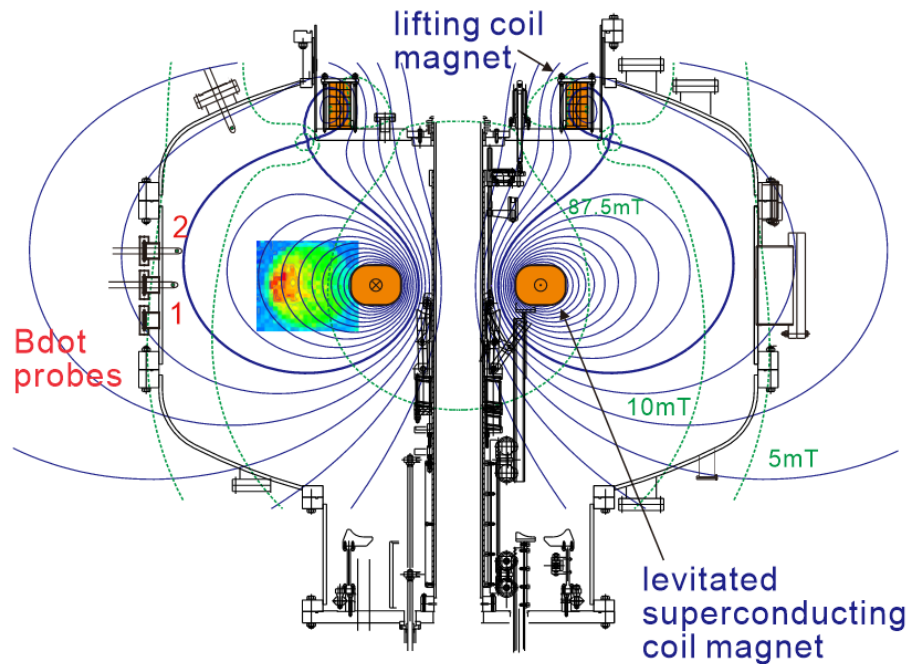
実験室でのコーラス放射研究：

2014 Van Compernelle+ PRL; 2023 Ikezoe+ IAEA
FEC 2023; 2020 Viktorov+ PoP; 2018 Spong+ PRL



RT-1: ダイポール磁場中で，高温電子による高 β 状態でホイッスラー波の自発励起

RT-1におけるコーラス放射研究の経緯と本研究の目的



発生条件と高温電子の割合の関係

●「人工磁気圏」RT-1

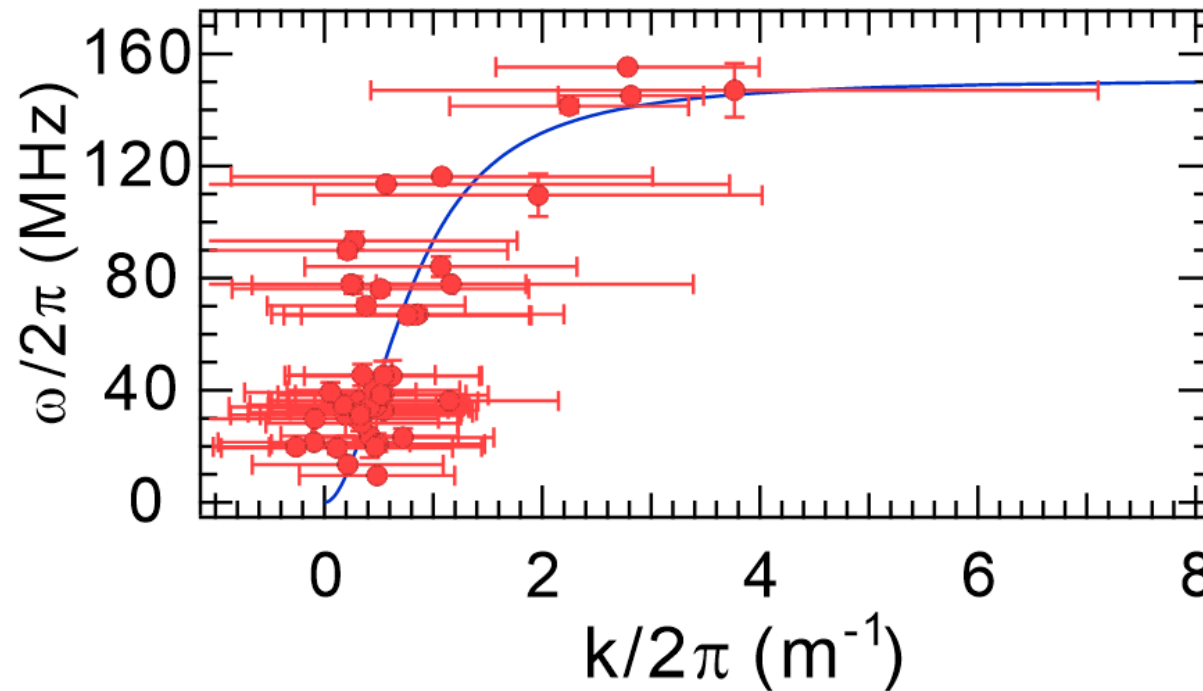
- 磁気浮上させた高温超伝導コイルによるダイポール磁場配位
- 高いベータ(比較的低密度)が特徴: コーラス発生と β の強い相関(右図)

一方、揺動の空間構造について、特にどこでホイッスラーは不安定化して非線形成長を経てコーラスが発生するかは分かっていない。

➡ 分散関係等の伝搬特性, 伝搬可能領域を調べるための密度情報の高精度化

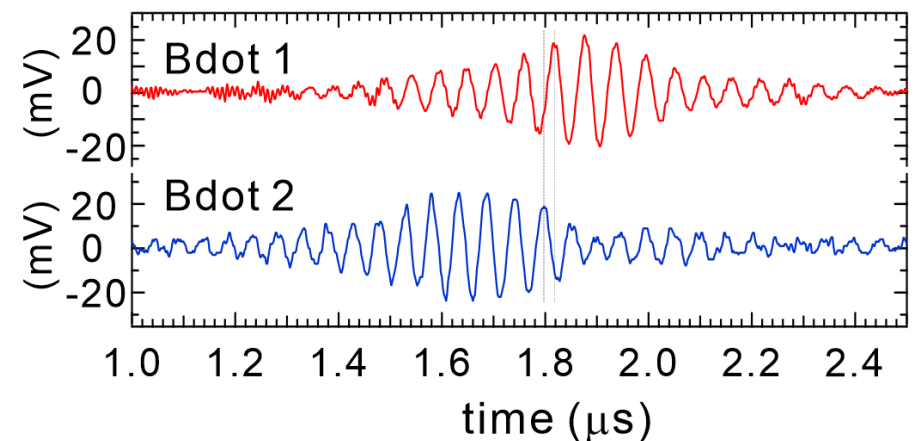
揺動の分散関係と伝搬方向(磁力線方向の伝搬)

- 密度分布に応じて計測間隔を最適化して得られた分散関係



←
測定点における
 $f_{ce} = 150\text{MHz}$

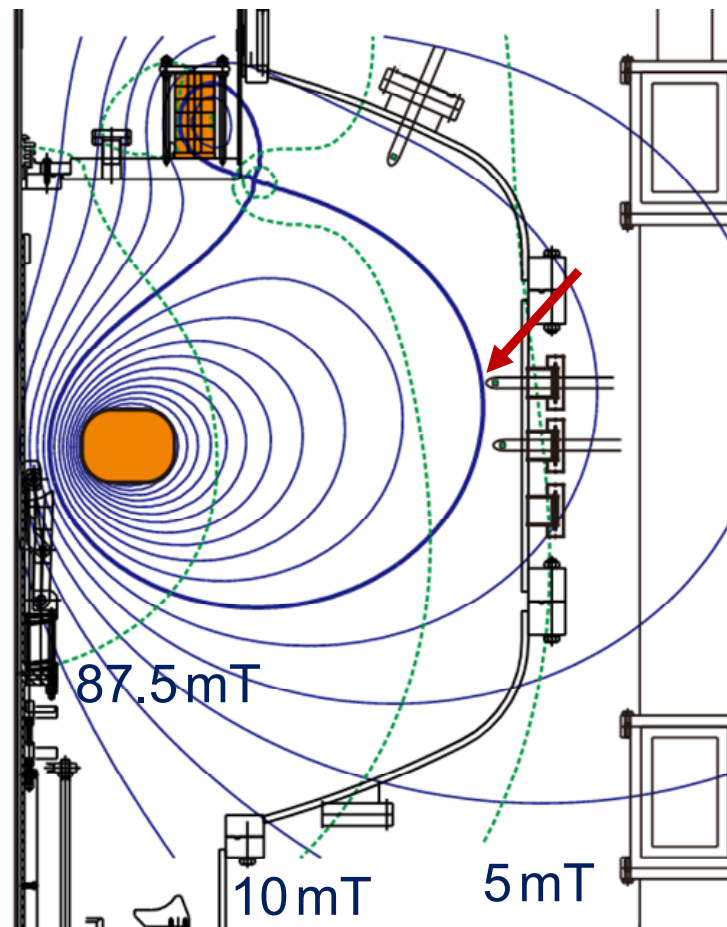
- 磁気プローブを配置した周辺部の
 $B=5.4\text{mT}$, $n_e=6.3 \times 10^{14}\text{m}^{-3}$
に対するR波の分散関係(上図の青)
と分散関係の測定結果(赤)は矛盾しない
- 磁力線方向に沿った伝搬が主となる



出現する周波数から考えられるコーラス放射の発生領域

- 観測される周波数の上限が、計測点の磁場強度に対する f_{ce} とほぼ一致
- 一方、揺動計測を行った周辺部の磁力線は強磁場領域までつながっている

(コーラス放射は $\sim 90\%$ of f_{ce} 程度まで出現)



- 考えられる状況として

- ① コーラスの発生は周辺部に局在する
- ② 発生自体は広い範囲で起こるが、計測点までの途中に伝搬不可能な領域がある

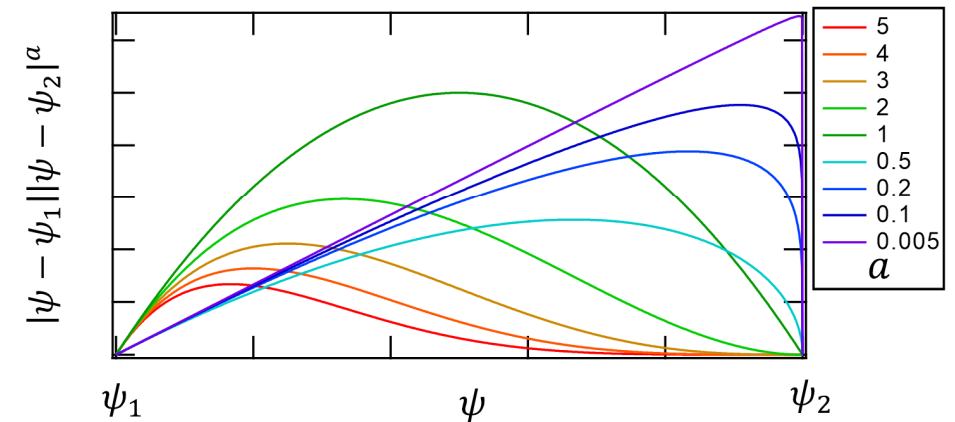
RT-1の高温電子は広い範囲に分布しており、温度非等方性によるホイッスラーの不安定性（コーラス放射の種）の発生場所は自明でない

干渉計とエッジLangmuirプローブによる密度分布の推定

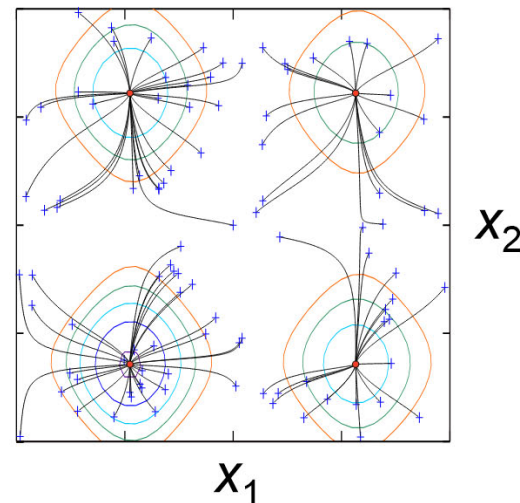
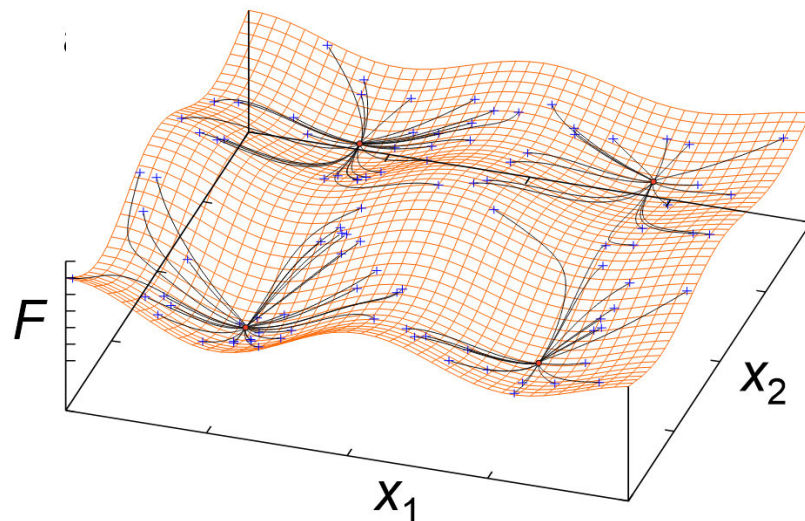
- 主にコア部分を計測する干渉計に加え、磁気計測を行う周辺部の情報を追加
- 密度分布モデルは基本的に以前と同様

$$n(r, z = 0) = n_0 |\psi - \psi_1| |\psi - \psi_2|^a$$

$$n(r, z) = n(r, z = 0) \times \left(\frac{B}{B_0} \right)^b$$



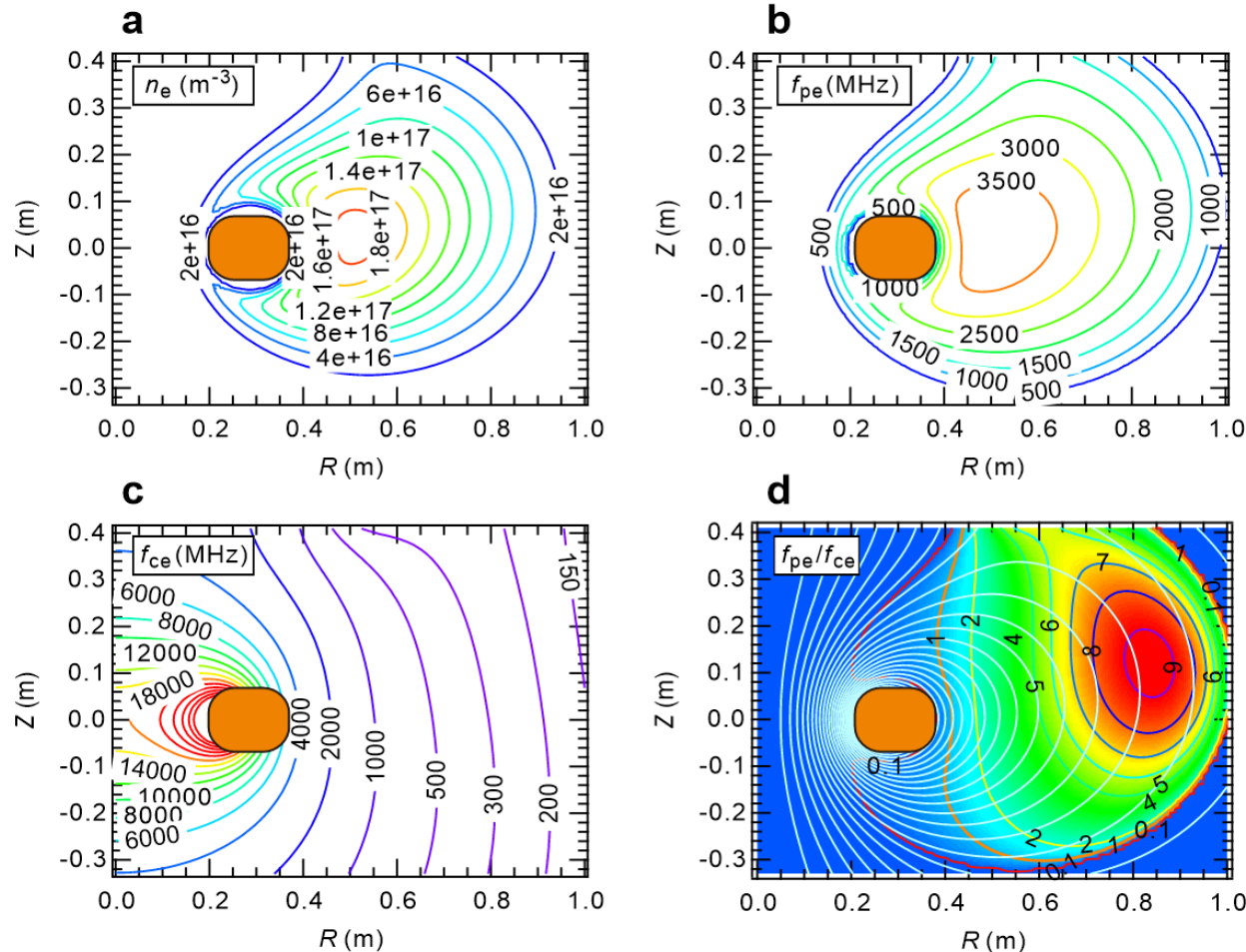
- 評価関数 $F(x_1, x_2, \dots)$ を最小にする収束解を大域的に探した



$$F = \sum_i (I_{ci} - I_{mi})^2 + (n_{ci} - n_{mi})^2$$

$$n_0 = 2.347 \times 10^{11}, \\ a = 1.082, b = 0.6375$$

- 主にコア部分を計測する干渉計に加え、磁気計測を行う周辺部の情報を追加



RT-1のプラズマでは
磁気圏と同様に広い範囲
で $f_p/f_c > 1$ であり
ホイッスラーは伝搬可能

可能な解釈として考えた2つの可能性のうち、

- ① RT-1ダイポールのコーラス放射は、弱磁場の周辺部に局在して発生するを支持する結果であり、強磁場領域ではホイッスラーは不安定化しない

コーラスの発生領域と観測される周波数帯の関係と、本研究の目的

- RT-1では波動とプラズマの相互作用や自己組織化の研究を進めており、本研究では特にホイッスラーモード・コーラス放射に着目した実験を進めた
- 揺動計測によれば、RT-1で観測されるホイッスラーの周波数は、計測点の電子サイクロトロン周波数の90%程度を超えることは非常に少ない
- 干渉計と周辺部の情報を追加した密度分布の再構成を行った結果、RT-1の高ベータプラズマでは、ホイッスラーが広い範囲で伝搬可能である
- 強磁場領域では該当の波は発生しておらず、ホイッスラー波が不安定化してコーラス放射に成長するのは周辺部のみであることを示している
- 今後、磁力線上の伝搬方向を調べ、発生領域を詳細に特定することが必要
- より長期的な課題として、不安定化が発生するための速度空間情報や粒子の加速を検証することを目標としている